

## 誘電体壁を用いた電子ホログラフィ用光位相変調液晶素子に関する研究

著者	磯前 慶友
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	86
号	1
ページ	144-145
発行年	2017-08
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00121403">http://hdl.handle.net/10097/00121403</a>

修士学位論文要約（平成29年 3 月）

## 誘電体壁を用いた電子ホログラフィ用光位相変調液晶素子に関する研究

磯前 慶友

指導教員：藤掛 英夫， 研究指導教員：石鍋 隆宏

A Study on Optical Phase Modulators Using Liquid Crystal  
with Dielectric Wall Structure for Electronic Holographic Displays

Yoshitomo ISOMAE

Supervisor: Hideo FUJIKAKE, Research Advisor: Takahiro ISHINABE

Electronic holographic display is a promising candidate for the future 3D displays. To achieve electronic holographic display with wide field of view, it is necessary to fabricate the optical phase modulator having a fine pixel pitch less than 1  $\mu\text{m}$ . From the simulations of electric field distribution and liquid crystal (LC) alignment of LC optical phase modulator with 1  $\mu\text{m}$  pixel pitch, we confirmed that it is difficult to drive individual pixels due to the leakage of the fringe electric field and elastic force of LC to the adjacent pixels. To overcome this problem, we proposed dielectric shield wall structure and clarified that the dielectric shield wall structure can drive individual pixels because the dielectric walls suppress leakage of electric field and elastic force of LC. In addition, we also optimized the anchoring strength on the surface of the wall structure for uniform phase modulation in a single pixel.

## 1. はじめに

近年、3D ディスプレイは高い臨場感と奥行き情報を有した画像表示が可能であることから、エンターテインメント分野だけでなく、医療や産業技術分野において注目され、普及が進んでいる。しかし、現在、実用化されている両眼視差方式の3Dディスプレイの場合、目の水晶体による焦点調節機構から得られる再生像の距離と、2つの眼球の輻輳角から得られる再生像の距離が一致しない不完全な立体視となり、3D酔い等を引き起こすことが問題となっていた[1]。これに対して電子ホログラフィックディスプレイは、物体からでる光の波面を再現することから、人間の立体視の生理的要因を全て満たす自然な立体表示が可能であり、次世代の3Dディスプレイとして実用化が期待されている。

現在、電子ホログラフィックディスプレイは、光を変調する素子の画素密度が低いことから、再生像を観察可能な範囲が最大でも 9.7 deg.と非常に狭く、実用化には至っていない[2], [3]。一例として、デスクトップ使用が可能となる 30 deg.の視域角を実現するためには、光変調素子の画素のピッチを 1  $\mu\text{m}$  以下にする必要があるが、この場合に生じる問題について検討された研究例はこれまで無かった。本研究では、1  $\mu\text{m}$ ピッチの画素を有した光変調素子において生じる問題を詳細に解析し、微小な画素の駆動を可能とする新たな画素構造の設計を研究目的とした。

## 2. 微小な画素を有する位相変調素子の提案

1  $\mu\text{m}$  ピッチの画素における液晶配向と電界分布を明らかにするために、液晶の弾性連続体理論[4]に基づくシミュレーションを行った。

図 1は 1  $\mu\text{m}$  ピッチの画素において、ON 状態の画素と OFF 状態の画素が隣接した場合の電界分布と液晶配向のシミュレーション結果を示しており、図の左側が ON 状態の画素、右側が OFF 状態の画素を示している。また、図内の短い線が液晶ダイレクターの方向を示している。等電位線に着目すると、ON 状態の画素から OFF 状態の画素へ電界がもれ出しており、さらに、OFF 状態の画素の液晶が回転していることが分かる。

また、液晶の弾性力が液晶の配向へ与える影響を検討するため、電界を印加しない状態で画素の配向を垂直とし、隣接する画素の配光分布についてシミュレーションを行った。この結果、図 2 に示すように、垂直配向させた画素の液晶の弾性力が伝達することにより隣接画素の液晶が回転することを確認した。

以上の結果より、1  $\mu\text{m}$  の画素の独立した駆動を可能にするためには、隣接画素の電界のもれ出しだけでなく、液晶の弾性力の伝達を抑制する新たな画素構造が必要となることが明らかにした。

電界のもれ出しと液晶の弾性力の伝達を抑制する新たな画素構造として、本研究では誘電体シールド壁構造を提案した。誘電体シールド壁構造は、画素と画素の間に誘電体の壁を挿入することにより、電界のも

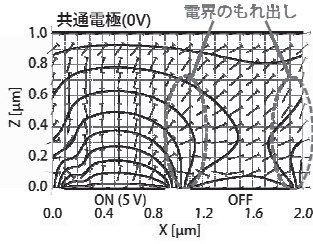


図 1 1  $\mu\text{m}$  ピッチの画素の電界分布と液晶配向

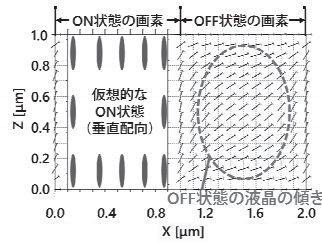


図 2 弾性力のみを考慮したシミュレーション結果

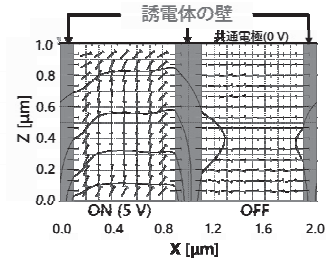


図 3 誘電体シールド壁構造の電界分布と液晶配向

れ出しを抑制し、さらに壁構造で液晶を空間的に分断することにより液晶の弾性力の影響を抑制することができる。

図 3 に誘電体シールド壁構造における液晶配向と電界分布のシミュレーション結果を示す。隣接画素への電界のもれ出しと液晶の弾性力の伝達が抑制され、画素ごとの独立した駆動が実現していることがわかる。以上の結果より、誘電体シールド壁構造により、1  $\mu\text{m}$  ピッチの液晶画素の駆動が可能となるとが明らかにした。

### 3. 誘電体シールド壁構造の設計

誘電体シールド壁構造を用いた画素内における位相分布に着目すると、図 4 に示すように ON 状態の画素において位相が不均一となることが分かった。不均一位相分布の原因として、壁の表面の液晶に対するアンカリング力(界面が液晶を束縛する力)であると考えられる。界面のアンカリング力が強い場合、界面に接している液晶は回転しにくくなり、ON 状態の画素内の位相分布は不均一となる。一方、OFF 状態の画素では、アンカリング力のもれ出しした電界に対して液晶が回転しないように配向を保持する力となることから、アンカリング力の最適化を行う必要がある。

そこで、アンカリング力に対する変調可能領域の変化についてシミュレーションを行い、アンカリング力の最適化を行った。変調可能領域は、図 5 に示すように、規格化した位相分布において、ON 状態の画素内で 90%以上の位相シフトが得られている領域を ON 状態の変調可能領域、OFF 状態で 10%以下の位相シフトである領域を OFF 状態の変調可能領域とそれぞれ定義した。

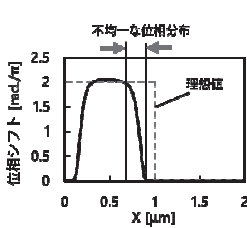


図 4 不均一位相分布

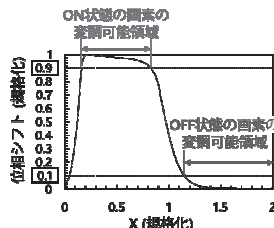


図 5 変調可能領域の定義

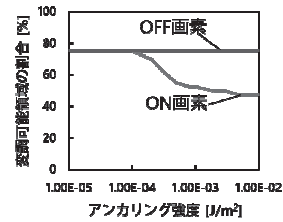


図 6 アンカリング強度と変調可能領域の関係

図 6 にシミュレーション結果を示す。ここで、シミュレーションにおいて誘電体壁の幅を 250 nm としていることから、変調可能領域の最大値は 75%である。図 6 より、OFF 状態の変調可能領域は、もれ出し電界が抑制されていることから、アンカリング強度を小さくした場合においても減少しないことを確認した。一方、ON 状態では、アンカリング強度が  $10^{-4} \text{ J/m}^2$  以下の場合において、変調可能領域が最大値となった。以上の結果より、壁の表面におけるアンカリング強度を最適化することで、画素内で均一位相変調が実現可能であることが示された。

### 5. 結論

本研究では、電子ホログラフィックディスプレイの視域角拡大のため、1  $\mu\text{m}$  ピッチの微小な液晶画素の駆動を可能とする誘電体シールド壁構造を提案した。さらに、画素内で均一位相変調を実現するために必要なアンカリング強度の設計指針を示した。

### 文献

- 1) D. M. Hoffman, A. R. Girshick, and M. S. Banks, J. Vis., vol. 8, no. 2008, pp. 1–30, (2015).
- 2) L. Onural, F. Yaras, and H. Kang, Proc. IEEE, vol. 99, no. 4, pp. 576–589, (2011).
- 3) Available: <http://holoeeye.com/spatial-light-modulators/gaea-4-k-phase-only-spatial-light-modulator/>. [Accessed: 16-Dec-2016].
- 4) P. Sheng, in Introduction to Liquid Crystals, E. B. Priestley, P. J. Wojtowicz, and Pi. Sheng, Eds. Springer US, pp. 103–127, (1975).